مقاله پژوهشی

بررسی تأثیر باکتری‌های محرک رشد گیاه بر خصوصیات رویشی و فیزیولوژیک گیاه تاغ (*Haloxylon aphyllum*) تحت تنش گرد و غبار

محمود نجفی زیلایی[۱]، اصغر مصلح آرانی*[۲]، حسن اعتصامی[۳]

[۱] دانشکده منابع طبیعی و کویرشناسی، دانشگاه یزد، یزد، ایران

[۲] گروه محیط ریست، دانشکده منابع طبیعی و کویرشناسی، دانشگاه یزد، یزد، ایران

[۳] گروه خاکشناسی، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، دانشگاه تهران، تهران، ایران

(تاریخ دریافت:۱۴۰۱/۰۹/۱۹، تاریخ پذیرش نهایی:۱۴۰۱/۱۲/۱۶)

چکیده

افزایش پدیده گرمایش جهانی ناشی از تولید گازهای گلخانه‌ای منجر به افزایش توجه به مسئله ترسیب دی‌اکسید کربن اتمسفری در اکوسیستم‌های خشک و نیمه‌خشک شده است. با این‌حال شرایط حاکم بر مناطق بیابانی به‌ویژه تنش گرد و غبار موجب شده تا عملیات احیا بیولوژیکی با مشکل روبرو شود. در این تحقیق تأثیر باکتری‌های محرک رشد گیاه استخراج‌شده از ریزوسفر گیاهان شورپسند (در سه سطح شامل بدون تلقیح باکتری، تلقیح با باکتری *Bacillus pumilus*، تلقیح با باکتری *Zhihengliuella halotolerans*) بر خصوصیات رویشی و فیزیولوژیک گیاه تاغ تحت تأثیر گرد و غبار (در دو سطح شاهد و ۱/۵ $g/m^2/month$) به‌صورت آزمایش فاکتوریل در چارچوب طرح بلوک‌های کاملاً تصادفی در سه تکرار به مدت پنج ماه و در شرایط گلخانه‌ای مورد بررسی قرار گرفت. در شرایط اعمال گرد و غبار، در سویه *Zhihengliuela halotolerans* نسبت به *Bacillus pumilus*، مقدار کلروفیل کل به میزان ۲۳۶ درصد افزایش معنی‌دار و مقدار آسکوربیک اسید، قندهای محلول و فعالیت آنزیم کاتالاز به ترتیب ۷۵ درصد، ۵۳ درصد و ۶۵ درصد کاهش معنی‌دار را نشان داد. سویه *B. pumilus* در شرایط اعمال گرد و غبار نسبت به *Z. halotolerans* در شاخص‌های فنل کل (۵۲ درصد)، پرولین (۶۶ درصد)، فعالیت آنزیم پراکسیداز (۷۹ درصد) و بیومس خشک کل (۱۰۸ درصد) عملکرد بهتری داشت. نتایج نشان داد که هر دو باکتری توانستند باعث کاهش آسکوربیک اسید، فنل کل، پرولین، قندهای محلول، کاتالاز و پراکسیداز در گیاه تاغ شوند و این موضوع نشان داد که کاربرد باکتری‌های محرک رشد گیاه می‌تواند تولید رادیکال‌های آزاد را متوقف و به این وسیله از ایجاد آسیب در گیاه جلوگیری کنند. نتایج این تحقیق نشان داد که باکتری‌های محرک رشد گیاه جداسازی‌شده از گیاهان مرتعی شورپسند می‌توانند باعث افزایش شاخص کیفیت نهال در شرایط تنش گرد و غبار شده و ما را در جنگل‌کاری بهینه گونه تاغ و ارتقا ترسیب گاز کربنیک در شرایط تغییر اقلیم در اکوسیستم‌های خشک و نیمه-خشک یاری دهند.

کلمات کلیدی: *Bacillus pumilus*، کاتالاز، قندهای محلول، تاغ، گرد و غبار

*نویسنده مسؤل، نشانی پست الکترونیکی: amosleh@yazd.ac.ir

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-10-12]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.56.8.2]

مقدمه

در طبیعت، گیاهان تحت تأثیر تنش‌های مختلف قرار می‌گیرند که باید با آنها مقابله کنند، در مناطق خشک و بیابانی پدیده گرد و غبار اثرات زیانباری بر خصوصیات فیزیولوژیک و مورفولوژیک (Najafi Zilaie *et al.*, 2022a,b) گیاهان این مناطق می‌گذارد. پدیده گرد و غبار در سال‌های اخیر با شدت بیشتری مناطق مختلف ایران را در برگرفته است (Marsafari *et al.*, 2011) و از مهمترین خطرات طبیعی و معضلات زیست محیطی به‌شمار می‌رود (Treesubsuntorn *et al.*, 2021)، از طرفی در سال‌های اخیر افزایش نگرانی‌ها درباره پدیده گرمایش جهانی ناشی از گازهای گلخانه‌ای؛ منجر به افزایش توجه به مسئله ترسیب دی‌اکسید کربن اتمسفری در اکوسیستم‌های خشک و نیمه‌خشک شده است (Sakai *et al.*, 2020). جنگل‌کاری در مناطق بیابانی یکی از کاربردی‌ترین و سودمندترین روش‌های مدیریت بیابان‌ها است (Naseri *et al.*, 2019)، که در جذب دی‌اکسید کربن اتمسفری تأثیر داشته و هم با فراهم کردن نهاده‌های کربن به شکل بقایای گیاهی، بر مقدار ذخیره کربن خاک تأثیر می‌گذارد (Dumroese *et al.*, 2015; Loni *et al.*, 2018) و سبب کاهش روند بیابانزایی می‌شود. مطالعات نشان می‌دهد که احیای اراضی بیابانی ایران توسط کاشت گیاهان هالوفیت به‌ویژه تاغ پتانسیل بالایی برای افزایش ترسیب کربن دارد (Taati *et al.*, 2019; Loni *et al.*, 2018).

تاغ (*Haloxylon aphyllum*) گیاهی خشبی، درختچه‌ای دائمی با شاخه‌های بندبند متعلق به تیره اسفناجیان *Chenopodiaceae* که در بسیاری از مناطق شنی و شور بیابانی آسیا پراکنش دارد (Wu, 1995) و عمدتاً به خاک‌های رسی یا رسی- شنی و یا شنی- رسی مرطوب وابسته بوده و در مناطقی با بارش کمتر از ۱۰۰ میلی‌متر و حتی کمتر از ۵۰ میلی‌متر پراکنش دارد (Bahrami *et al.*, 2003)؛ تاغ قادر است با نیاز آبی کم، تحمل شرایط سخت آب و هوایی و قدرت سازگاری بالا در مناطق خشک و بیابانی نقش مؤثری در تثبیت شن و عملیات بیابان‌زدایی داشته باشد ولی جوانه‌زنی و استقرار آن ممکن است در مواجهه با شرایط نامساعد آب و خاک با مشکلاتی روبرو شود (Bahrami *et al.*, 2003). اگر چه ذخیره کربن در گونه تاغ در مقایسه با اکوسیستم‌های دیگر ناچیز است اما این امر با توجه به مساحت زیاد مناطق تاغ‌کاری در مناطق بیابانی ایران یکی از روش‌های مهم ترسیب کربن به‌شمار می‌رود (Naseri *et al.*, 2019).

شرایط حاکم بر مناطق بیابانی به‌ویژه تنش‌های زیستی و غیرزیستی موجب شده است تا رشد گیاهان با مشکل روبرو شود (Mosleh Arany *et al.*, 2009). تنش گرد و غبار یکی از مهمترین عوامل محیطی مؤثر در استقرار هالوفیت‌هایی مانند تاغ در این مناطق است (Najafi Zilaie *et al.*, 2022a). گیاهان تحت تأثیر تنش گرد وغبار و ریزگردها قبل از آسیب دیدن دائمی برگ؛ یکسری از تغییرات فیزیکی و شیمیایی را در خود تجربه خواهند کرد (احقاقی و همکاران، ۱۳۹۴)، که از آن جمله می‌توان مسدود کردن روزنه‌ها (Siqueira-Silva *et al.*, 2016)، افزایش دو تا سه درجه‌ای دمای گیاه (Meravi *et al.*, 2021)، کاهش کلروفیل (Javanmard *et al.*, 2019)، تغییر در رنگیزه‌های برگ، تغییر در محتوای نسبی رطوبت برگ (Salehi *et al.*, 2018) و در نهایت کاهش عملکرد گیاه را نام برد (Karimi *et al.*, 2018). در محیط‌های بیابانی به‌دلیل کم بودن بارش و عدم حذف ذرات از سطح گیاه، ذرات گرد وغبار تأثیرات بیشتر و طولانی‌تری روی گیاهان دارند (Najafi Zilaie *et al.*, 2022b).

در مقیاس سلولی، گیاهان اثرات منفی و مخرب تنش‌های محیطی را با افزایش متابولیسم و تنظیم پتانسیل اسمزی از طرق مختلف مانند تجمع مواد آلی و معدنی در سلول‌های خود کاهش داده و فشار تورژسانس سلول خود را تنظیم می‌کنند (مصلح آرانی و همکاران، ۱۳۹۶). در شرایط تنش گرد و غبار، مقدار ROS افزایش می‌یابد که به‌واسطه واکنش‌پذیری زیاد می‌توانند با دیگر مولکول‌ها و ترکیبات سلول‌های گیاهی مانند رنگدانه‌ها، پروتئین‌ها و لیپیدها واکنش داده و باعث تخریب آنها شوند (Zilaie *et al.*, 2022). گیاهان عالی به‌منظور مقابله با آسیب‌های ناشی از ROS، مجهز به سیستم‌های دفاعی آنتی-

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-10-12]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.56.8.2]

اکسیدان آنزیمی (پراکسیداز و کاتالاز) و غیرآنزیمی (آسکوربیک اسید، ترکیبات فنل و پرولین) کارآمد درون سلول‌های خود هستند تا بتوانند شکل‌های اکسیژن فعال تولید شده در اثر وقوع تنش‌های محیطی را کنترل کنند (Najafi Zilaie *et al.*, 2022a; El-Nashaar *et al.*, 2020).

در سال‌های اخیر؛ نقش و تأثیر باکتری‌های محرک رشد گیاه در رشد و نمو و فعالیت زیستی گیاهان مورد توجه قرار گرفته است (Etesami and Maheshwari, 2018)؛ این موجودات با افزایش جذب عناصر غذایی و مقاومت گیاه به تنش‌های محیطی سبب رشد بهتر و زنده‌مانی گیاهان می‌شوند (Compant *et al.*, 2019; Noori *et al.*, 2018). این باکتری‌ها، از طریق سنتز آنتی‌بیوتیک‌ها، تولید هورمون‌های گیاهی (Prasad *et al.*, 2019)، اسیدهای آمینه، حلالیت فسفات‌های معدنی و پتاسیم معدنی (Li *et al.*, 2020)، تثبیت نیتروژن (Noori *et al.*, 2018) و تشکیل سیدرفورهای کمپلکس‌کننده آهن (Bertola *et al.*, 2019)، کاهش اثرات تنش‌های زیستی و غیرزیستی (Esmaeel *et al.*, 2018)، مقابله با عوامل بیماری‌زای گیاهی از طریق تولید سیانید هیدروژن (Bhardwaj *et al.*, 2014) رشد و عملکرد گیاهان را بهبود می‌بخشند (Orozco-Mosqueda *et al.*, 2020). Amini و همکاران (۲۰۲۱) در پژوهشی نشان دادند که باکتری‌های مذکور دارای صفات محرک رشدی متعددی مانند قابلیت انحلال فسفات غیرمعدنی، تولید آنزیم ACC دی‌آمیناز، تولید اکسین، تولید سیدروفور و تثبیت‌کننده نیتروژن هستند. تلقیح این دو باکتری باعث افزایش تحمل گندم به شوری و افزایش رشد و عملکرد آن شد.

Ebrahimi و همکاران (۲۰۲۱) جهت بهبود صفات رویشی بذر تاغ از باکتری‌های محرک رشد گیاه استفاده کردند. آنها نشان دادند که باکتری *Azotobacter* سبب افزایش معنی‌دار طول ریشه‌چه (۱۹ درصد)، رشد گیاهچه (۱۰ درصد وزن تر (۱۸ درصد)، وزن تر ریشه‌چه (۲۳ درصد) تاغ نسبت به شاهد شد. نتایج مشابه برای باکتری‌های *Azospirillum* و *Flavobacterium* در گیاه تاغ بدست آمد. سویه‌های *Bacillus pumilus* و *Zhihengliuela halotolerans* باکتری‌های مفید استخراج‌شده از ریزوسفر گیاهان شورپسندی مانند *Atriplex lentiformis*، *Tamarix ramosissima* و *Seidlitzia rosmarinus* هستند که به‌دلیل توانایی در برقراری ارتباط با گیاهان مناطق بیابانی توجه بیشتری را به خود جلب کرده‌اند و اثرات مثبت آنها بر روی رشد گیاهان اثبات شده است (Hajiabadi *et al.*, 2022; Amini Hajiabadi *et al.*, 2021; Jha *et al.*, 2012). در تحقیق حاضر تأثیر تلقیح دو باکتری *Bacillus pumilus* و *Zhihengliuella halotolerans* به صورت جداگانه روی برخی ویژگی‌های رویشی و فیزیولوژیک گیاه تاغ تحت تنش گرد و غبار بررسی شد. هدف از این تحقیق این بود که مشخص کنیم آیا باکتری‌های مذکور قابلیت افزایش توان مقاومت گیاه تاغ در برابر تنش گرد و غبار را دارند یا نه، به همین علت تأثیر این باکتری‌ها بر خصوصیات مورفولوژیکی و رویشی تاغ تحت شرایط گرد و غبار بررسی شد. نتایج این تحقیق می‌تواند ما را در جنگل‌کاری بهینه گونه تاغ و مسئله ترسیب دی‌اکسید کربن اتمسفری در شرایط تغییر اقلیم در اکوسیستم‌های خشک و نیمه‌خشک کمک کند.

مواد و روش‌ها

آزمایش گلخانه‌ای: نهال‌های سه ماهه تاغ از مرکز تکثیر گیاهان مرتعی اداره کل منابع طبیعی استان یزد تهیه شد. نهال-های هم اندازه و هم شکل به گلدان‌های زهکش‌دار به ارتفاع ۱۸ و دهانه ۲۰ سانتی‌متر محتوی ۴ کیلوگرم خاک با سه واحد خاک زراعی بدون هوموس و یک واحد ماسه‌بادی منتقل (جدول ۱) و در محل گلخانه مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان خوزستان با شرایط ۱۶ ساعت نور و ۸ ساعت تاریکی، دمای ۲ ± ۲۵ و رطوبت ۶۰ درصد نگهداری شدند. در این پژوهش تأثیر باکتری‌های محرک رشد گیاه بر خصوصیات رویشی و مورفولوژیک گونه تاغ تحت تنش گرد و غبار و به صورت آزمایش فاکتوریل سه عاملی در چارچوب طرح
بلوک‌های کاملاً تصادفی در سه تکرار در مدت پنج ماه و

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-10-12]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.56.8.2]

جدول ۱- برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی نمونه خاک استفاده‌شده در این آزمایش

نیتروژن	کربن آلی	مواد آلی	نسبت کربن به نیتروژن	کربنات کلسیم	هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر)	pH	سیلت (درصد)
	(درصد)						
۰/۰۲	۰/۱۸	۰/۳۱	۶/۳	۳۲/۵	۲	۷/۶۱	۱۲
فسفر	پتاسیم	سدیم	کلسیم	سولفات	بافت خاک	رس (درصد)	ماسه (درصد)
(قسمت در میلیون)		(میلی اکی والان بر لیتر)					
۱۵	۹۱۷/۳۷	۲/۱۵	۱/۸	۴۷	لوم رسی شنی	۲۸/۸	۵۹/۲

شرایط گلخانه‌ای طراحی و اجرا شد. تیمارهای این تحقیق شامل فاکتور اول: باکتری محرک رشد گیاه (در سه سطح شامل بدون تلقیح باکتری، تلقیح با باکتری *Bacillus pumilus*، تلقیح با باکتری *Zhihengliuella halotolerans*)، فاکتور دوم: گرد و غبار (در دو سطح بدون گرد و غبار و اعمال گرد و غبار) صورت گرفت.

تهیه و تلقیح باکتری‌ها: دو باکتری محرک رشد گیاه *Bacillus pumilus* و *Zhihengliuella halotolerans* برای این آزمایش در نظر گرفته شد. سویه‌های این دو باکتری از ریزوسفر گیاهان شورپسند مارونگ (*Bacillus pumilus*) و اشنان (*Zhihengliuella halotolerans*) که قبلاً توسط Amini و همکاران (۲۰۲۱) خالص‌سازی و صفات محرک رشد آنها تعیین و اثر مثبت آن بر روی گندم ارزیابی شده بود، استفاده شد.

برای تلقیح نهال‌ها، به‌ازای هر سویه باکتری، یک ارلن مایر ۱۰۰ میلی‌لیتری حاوی ۵۰ میلی‌لیتر محیط‌کشت Nutrient Broth تهیه گردید. برای تهیه مایه تلقیح، یک کلنی خالص از هر باکتری برداشته و تحت شرایط استریل به یک ارلن حاوی محیط‌کشت اضافه شد. ارلن هر باکتری روی شیکر با سرعت ۱۲۰ دور در دقیقه و دمای ۲۸ درجه سلسیوس قرار داده شدند. پس از ۴۸ ساعت مایه تلقیح سویه‌ها با جمعیت تقریبی ۳×۱۰^{۸} سلول بر میلی‌لیتر (تنظیم جمعیت باکتری با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر صورت گرفت تا تمام سویه‌های باکتری دارای جمعیت یکسان باشند) آماده مصرف شدند. سوسپانسیون این دو باکتری به مقدار ۵ میلی‌لیتر و در دو نوبت از محل ریشه به گیاهان تلقیح شد. نوبت اول در شروع آزمایش گلخانه و در زمان انتقال نهال‌ها به گلدان‌های بزرگتر و نوبت دوم یک ماه بعد از اعمال تنش گرد و غبار تلقیح انجام گرفت. به گیاهان شاهد فقط محلول نوترینت براث بدون باکتری اعمال شد.

اعمال تیمار گرد و غبار: یک ماه پس از استقرار نهال‌ها در گلدان، تیمار گرد و غبار اعمال شد. غباردهی با استفاده از دستگاه شبیه‌ساز (Dustin-Miser Model 1212 Includes Deflector) ساخت کشور آمریکا در محل گلخانه انجام شد. مقدار غبار ریزشی برابر ۱/۵ $g/m^2/month$ و با تعداد دفعات یک بار در هفته براساس نتایج Ahmadi Foroushani و همکاران (۲۰۲۱) که نشان داد غبار ریزشی برابر $g/m^2/month$ ۸/۴ در فصل تابستان و برابر ۳/۵ $g/m^2/month$ در فصل بهار در منطقه مورد مطالعه اتفاق می‌افتد، اعمال شد. در هر بار اعمال گرد و غبار کلیه گیاهان شاهد از گلخانه خارج گردید تا غبار روی آنها قرار نگیرد. برای تهیه گرد و غبار از نمونه خاک کانون گرد و غباری جنوب شرقی اهواز حد فاصل بزرگراه اهواز- ماهشهر استفاده شد (جدول ۲ و ۳). این مکان براساس تحقیقات انجام‌شده در خصوص منشایابی گرد و غبار در استان خوزستان و تعیین کانون‌های بحرانی انتخاب شد (بی‌نام، ۱۳۹۶). بعد از ریختن غبار داخل دریچه دستگاه شبیه‌ساز، مقدار غبار ریزشی برحسب گرم بر مترمربع با استفاده از تله‌ای به ابعاد ۲/۳×۱/۶ مترمربع کنترل شد. غباردهی به‌مدت پنج ماه با فاصله زمانی یک هفته انجام شد.

اندازه‌گیری صفات فیزیولوژیکی و رویشی: پس از اتمام مراحل تیماردهی نهال‌های مورد نظر برای انجام آزمایشات

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-10-12]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.56.8.2]

جدول ۲- عناصر اصلی گرد و غبار و غلظت آنها

عنصر	غلظت (درصد)	عنصر	غلظت (درصد)	عنصر	غلظت (درصد)
کلسیم	۲۲/۷	منیزیم	۲/۴۲	آهن	۴/۷۱
سدیم	۲/۳۷	آلومنیوم	۴/۰۸	پتاسیم	۰/۷۹

جدول ۳- عناصر سنگین گرد و غبار نمونه‌های به کار رفته و غلظت آنها

عنصر	غلظت (قسمت در میلیون)	عنصر	غلظت (قسمت در میلیون)
روی	۵۲/۹	نیکل	۹۴
مس	۱۵/۸	وانادیوم	۷۳/۴
کبالت	۱۲/۷	باریم	۲۳۱
اورانیوم	۱/۹۶	کروم	۱۱۶
کادمیوم	۰/۶	سرب	۲۰/۲۳

فیزیولوژیک و رویشی نمونه‌برداری شد. مقدار کلروفیل کل برگ به‌روش (Lichtenthaler, 1987)، آسکوربیک اسید (Mukherjee and Choudhuri, 1983)، محتوای فنل کل (Mc Donald *et al.*, 2001)، پرولین (Bates *et al.*, 1973)، قندهای محلول (Kochert, 1978)، pH عصاره برگ (Tak and Kakde, 2017)، فعالیت آنزیم کاتالاز (Aebi, 1984)، پراکسیداز (Hemeda and Kelin, 1990) و محتوای نسبی آب (Ritchie *et al.*, 1990) اندازه‌گیری شد. در این مرحله خصوصیات مورفولوژیکی (وزن خشک اندام هوایی و خشک ریشه، ارتفاع ساقه، قطر یقه) نیز اندازه‌گیری شد و درنهایت دو پارامتر بیومس خشک کل (مجموع وزن خشک ریشه و اندام هوایی) و شاخص کیفیت نهال (Seedling quality index) براساس فرمول Dickson و همکاران (۱۹۶۰)، در این پژوهش محاسبه و بررسی شدند.

رابطه ۱

$$\text{شاخص کیفیت نهال} = \frac{\text{وزن خشک کل نهال (گرم)}}{\left\{\frac{\text{وزن خشک ساقه (گرم)}}{\text{طول ساقه (سانتیمتر)}} + \frac{\text{وزن خشک ریشه (گرم)}}{\text{قطر یقه (میلیمتر)}}\right\}}$$

برای اندازه‌گیری کلروفیل کل ۰/۲ گرم بافت تازه برگی با ۱۰ میلی‌لیتر استون ۸۰ درصد داخل هاون چینی به خوبی ساییده شد و پس از آن محلول به دست آمده توسط کاغذ صافی، صاف گردید. سپس نمونه‌ها به مدت ۲۰ دقیقه در سانتریفیوژ ۴۰۰۰ rpm قرار داده شدند و شدت جذب آن در طول‌موج‌های ۶۶۳/۲، ۶۶۴/۸ و ۴۷۰ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتوفتومتر خوانده شد. غلظت رنگیزه‌های کلروفیل a و کلروفیل b برحسب میلی‌گرم بر گرم با استفاده از روابط زیر محاسبه گردید:

رابطه ۲

$$Chl_a = 12.5A_{663.2} - 2.79A_{646.8}$$
$$Chl_b = 21.5A_{646.8} - 5.1A_{663.2}$$
$$\text{Total chlorophyll} = Chl_a + Chl_b$$

که در این فرمول Chl_a و Chl_b به ترتیب غلظت کلروفیل a و کلروفیل b است. A در روابط مختلف مقدار عدد خوانده شده توسط اسپکتوفتومتر برای کلروفیل a و کلروفیل b است.

برای سنجش اسید آسکوربیک ابتدا مقدار ۰/۵ گرم وزن تر برگی به همراه ۱۰ میلی‌لیتر محلول ۵ درصد اسید متافسفریک در هاون چینی به طور کامل ساییده و مخلوط حاصله به مدت ۲۰ دقیقه در ۸۰۰۰g سانتریفیوژ گردید تا محلول شفاف به دست آید. سپس دو میلی‌لیتر از عصاره سانتریفیوژ شده با ۰/۵ میلی‌لیتر از محلول ۳ میلی‌مولار نمک سدیم ۲ و ۶ دی کلروایندوفنل اضافه شد تا اسید آسکوربیک را به اسید دهیدروآسکوربیک اکسید کند. محلول شاهد با استفاده از یک میلی‌لیتر اسید متافسفریک ۵ درصد و افزودن ۰/۵ میلی‌لیتر محلول ۳ میلی‌مولار نمک سدیم ۲ و ۶ دی کلروایندو فنل آماده

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-10-12]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.56.8.2]

گردید. در مرحله بعد یک میلی‌لیتر تیواوره ۱٪ به نمونه‌ها و شاهد اضافه شد. سپس یک میلی‌لیتر محلول ۱۰ میلی‌مولار از ۲ و ۴- دی نیتروفنیل هیدرازین به نمونه‌ها و استانداردها اضافه شد تا مشتق ۲ و ۴- دی نیتروفنیل هیدرازین از اسید دهیدروآسکوربیک تشکیل شود، ولی به محلول شاهد یک میلی‌لیتر اسید سولفوریک ۲۰ درصد اضافه شد. همه لوله‌ها به مدت یک ساعت در حمام آب ۵۰ درجه سانتی‌گراد گذاشته شدند. سپس به مدت ۲۰ دقیقه در حمام یخ ماندند. به تدریج ۲/۵ میلی‌لیتر اسید سولفوریک ۸۵ درصد به نمونه‌های واقع در حمام به طور تدریجی افزوده شد. مجدداً همه لوله‌ها در حمام یخ به مدت ۳۰ دقیقه قرار گرفتند. سپس یک میلی‌لیتر اسید سولفوریک ۲۰ درصد به نمونه‌ها و استانداردها و یک میلی‌لیتر از محلول ۱۰ میلی‌مولار ۲ و ۴- دی نیتروفنیل هیدرازین به لوله شاهد اضافه شد. مقدار جذب در مقایسه با شاهد تهیه‌شده در طول‌موج ۵۲۰ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر به صورت میلی‌گرم در گرم وزن تر اندازه‌گیری شد.

برای اندازه‌گیری میزان فنل کل (درصد)، یک گرم گیاه تازه توزین شده در هاون چینی ساییده، سپس ۱۰ میلی‌لیتر متانول روی نمونه ریخته و به مدت دو دقیقه ساییده شد. عصاره تهیه‌شده ابتدا صاف و سپس به لوله آزمایش منتقل شد. ۱۰۰ میکرولیتر از عصاره، ۱ میلی‌لیتر آب‌مقطر درون یک لوله دیگر ریخته و سپس ۲۵۰ میکرولیتر از عصاره رقیق‌شده را در لوله آزمایش ریخته و ۲/۵ میلی‌لیتر فولین ۱۰ درصد به آن اضافه شد و پس از شش دقیقه، ۲ میلی‌لیتر محلول کربنات پتاسیم یک مولار اضافه گردید. پس از گذشت ۱۵ دقیقه جذب نمونه‌ها در طول‌موج ۷۶۵ نانومتر با دستگاه اسپکتروفتومتر خوانده شد.

میزان پرولین موجود در برگ با استفاده از ۰/۵ گرم ماده تر برگ تازه براساس واکنش با معرف نین‌هیدرین و با دستگاه اسپکتوفتومتر در طول‌موج ۵۲۰ نانومتر بر حسب میکروگرم بر گرم وزن تر خوانده گردید. برای اندازه‌گیری میزان قند محلول، ۱۰ میلی‌لیتر اتانول ۷۰ درصد به ۰/۱ ماده خشک گیاهی (برگ) اضافه و به مدت یک هفته در یخچال نگهداری شد. بعد از گذشت یک هفته، یک میلی‌لیتر از محلول رویی نمونه برداشته و بر روی آن یک میلی‌لیتر فنل ۵ درصد افزوده و خوب به هم زده شد. سپس ۵ میلی‌لیتر اسید سولفوریک غلیظ اضافه شد. ابتدا محلول زرد رنگی به دست آمد که به مرور زمان تغییر رنگ داده و به قهوه‌ای روشن تمایل پیدا کرد. پس از سی دقیقه نگهداری در دمای آزمایشگاه با استفاده از دستگاه اسپکتوفتومتر در طول‌موج ۴۸۵ نانومتر، میزان جذب تعیین شده و با استفاده از منحنی گلوکز، میزان تغییرات قندها بر حسب میلی‌گرم بر گرم وزن تر ارزیابی شد.

برای اندازه‌گیری pH عصاره برگ، ابتدا به نیم‌گرم برگ تازه خردشده چهار میلی‌لیتر آب‌مقطر اضافه گردید. در مرحله بعد جهت مخلوط کردن کامل نمونه، یک ساعت در شیکر با سرعت ۲۵۰ دور قرار گرفتند. در ادامه، محتویات به مدت ۳۰ دقیقه با دور ۴۰۰۰ سانتریفیوژ شدند. عصاره حاصله از کاغذ صافی عبور و به ظروف خاص انتقال یافت و در نهایت قرائت pH با pH متر دیجیتالی به دست آمد.

محلول واکنش مورد نیاز برای فعالیت آنزیم کاتالاز شامل ۱۰۰ میکرولیتر بافر فسفات ۰/۰۵ مولار با (pH=۷/۸) حاوی ۵۰ میکرولیتر پراکسید هیدروژن ۱۰ میلی‌مولار است که مقدار ۱۰ میکرولیتر عصاره آنزیمی به آن اضافه و کاهش جذب محلول در طول‌موج ۲۴۰ نانومتر با اسپکتروفتومتر خوانده شد. واکنش با افزودن پراکسید هیدروژن آغاز شد و کاهش جذب به مدت ۳۰ دقیقه اندازه‌گیری شد. در نهایت میزان فعالیت آنزیم کاتالاز برحسب میکرومول پراکسید هیدروژن H_2O_2 مصرف شده (با ضریب خاموشی $۳۹/۴\ mM^{-1}cm^{-1}$) در دقیقه به ازای میلی‌گرم پروتئین (Unit mg^{-1} protein) محاسبه گردید. برای اندازه‌گیری فعالیت آنزیم پرکسیداز، سه میلی‌لیتر مخلوط واکنش شامل ۱۰۰ میکرولیتر بافر سدیم – پتاسیم فسفات ۵۰ میلی‌مولار (pH=۶/۶)، ۲۰۰ میکرولیتر گایاکول یک درصد و ۲۰ میکرولیتر پراکسید هیدروژن ۰/۳٪ و ۱۰ میکرولیتر عصاره آنزیمی بود. فعالیت آنزیم پرکسیداز براساس میزان اکسیدشدن گایاکول در طول‌موج ۴۷۰ نانومتر و با استفاده از ضریب خاموشی $۲۶/۶\ mM^{-1}cm^{-1}$ تعیین گردید.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-10-12]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.56.8.2]

به‌منظور اندازه‌گیری محتوای نسبی آب برگ در ابتدا جهت تعیین وزن تر تعداد دو یا سه برگ تازه انتخاب و با ترازوی دیجیتال با دقت یک هزارم گرم توزین شدند. سپس برگ‌ها در داخل لوله‌های مخصوص حاوی آب‌مقطر به طور جداگانه غوطه‌ور شدند و به مدت ۲۴ ساعت در یخچال و در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند. پس از گذشت این مدت، برگ‌ها را روی کاغذ صافی قرار داده تا آب برگ‌ها خشک گردید، در این حالت برگ‌ها به حد اشباع خود می‌رسند. برگ‌ها دوباره وزن شدند تا وزن اشباع آنها محاسبه گردد، سپس نمونه‌های برگی اشباع به مدت ۴۸ ساعت در آون الکتریکی با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد منتقل و بعد از این مدت با ترازوی دیجیتال وزن خشک برگ‌ها اندازه‌گیری شد. با استفاده از فرمول زیر محتوای نسبی آب برگ‌ها محاسبه گردید: رابطه ۳

$$RWC\% = \left(\frac{wt - wd}{wt}\right) \times 100$$

در این رابطه W_t وزن مرطوب نمونه برگ تازه گیاه و W_d وزن خشک نمونه برگ گیاه قرار گرفته در آون به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد است.

برای تعیین وزن خشک اندام‌های هوایی و زمینی گیاه، اندام هوایی و ریشه از هم جدا و به مدت ۷۲ ساعت در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد در دستگاه آون قرار گرفتند و بعد از آن به وسیله ترازوی حساس ۰/۰۰۱ گرم توزین شدند. به منظور تجزیه و تحلیل داده‌های حاصل از پارامترهای مختلف اندازه‌گیری شده از نرم‌افزار SPSS16 استفاده شد و نمودارها نیز در نرم‌افزار Excel رسم گردید. پس از اطمینان از نرمال بودن داده‌ها با استفاده از آزمون کلموگروف - اسمیرنوف، اختلاف بین سطوح مختلف تیمارها به صورت آنالیز داده‌ها با آزمون تجزیه واریانس و در نهایت مقایسه میانگین‌ها با آزمون دانکن (α=۰/۰۵) بررسی شد.

نتایج

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که برهمکنش باکتری × گرد و غبار بر غلظت کلروفیل کل، آسکوربیک اسید، محتوی فنل کل، پرولین، قندهای محلول، کاتالاز و پراکسیداز نهال‌های تاغ معنی‌دار بود. همچنین نتایج تجزیه واریانس نشان داد که فاکتور باکتری بر اسیدیته برگ، محتوای نسبی آب و شاخص کیفیت و فاکتور گرد و غبار بر اسیدیته برگ، محتوای نسبی آب، بیومس خشک کل و شاخص کیفیت در نهال‌های تاغ معنی‌دار بود (جدول ۴).

کلروفیل کل: نتایج مقایسه میانگین‌ها (شکل ۱) نشان داد که سویه‌های *B. pumilus* و *Z. halotolerans* به ترتیب باعث افزایش معنی‌دار کلروفیل کل به مقدار ۱/۱۴ و ۲/۵۷ برابر در شرایط بدون تیمار گرد و غبار و همچنین ۱/۰۱ و ۲/۳۶ برابر به ترتیب با اعمال گرد و غبار شدند.

آسکوربیک اسید: با توجه به نتایج مقایسه میانگین‌ها (شکل ۲)؛ اعمال تیمار گرد و غبار به تنهایی مقدار آسکوربیک اسید را ۱۱ درصد افزایش داد. دو سویه *B. pumilus* و *Z. halotolerans* آسکوربیک اسید را به ترتیب به مقدار ۶۳ و ۷۷ درصد در شرایط بدون اعمال تیمار گرد و غبار و همچنین ۶۰ و ۷۵ درصدی به ترتیب با اعمال گرد و غبار نسبت به شاهد خود کاهش داد.

pH عصاره برگ: نتایج مقایسه میانگین‌ها (شکل ۳) نشان داد که اعمال تیمار گرد و غبار به تنهایی (بدون باکتری) مقدار pH عصاره برگ را ۲۹ درصد افزایش داد، همچنین سویه *Z. halotolerans* میزان pH عصاره برگ را به مقدار ۲۳ درصد در شرایط بدون اعمال تیمار گرد و غبار نسبت به شاهد خود به‌طور معنی‌داری کاهش داد.

محتوی فنل کل: نتایج مقایسه میانگین‌ها (شکل ۴) نشان داد اعمال گرد و غبار به تنهایی محتوی فنل کل را ۱۸ درصد افزایش داد، همچنین کاربرد *B. pumilus* و *Z. halotolerans* محتوی فنل کل را به ترتیب به‌مقدار ۸۵ و ۵۵ درصد در شرایط بدون اعمال گرد و غبار و ۷۹ و ۵۲ درصد به ترتیب با اعمال گرد و غبار نسبت به شاهد خود به‌طور معنی‌داری کاهش داد.

پرولین: نتایج مقایسه میانگین‌ها (شکل ۵) نشان داد اعمال تیمار گرد و غبار به تنهایی مقدار پرولین را ۴۸ درصد افزایش یافت. سویه *B. pumilus* و *Z. halotolerans* پرولین را به ترتیب به مقدار ۴۴ و ۶۹ درصد در شرایط بدون اعمال تیمار

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-10-12]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.56.8.2]

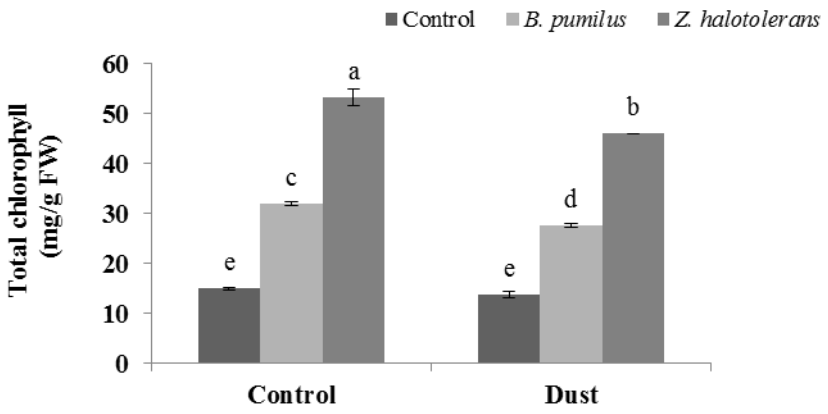
جدول ۴- نتایج تجزیه واریانس صفات رویشی و فیزیولوژیک گونه تاغ

منبع تغییر	درجه آزادی	کلروفیل کل	اسید آسکوربیک	محتوی فنل کل	اسیدیته برگ	پرولین	قند محلول
باکتری	۲	۱۸۸۱/۵۴**	۰/۰۰۳**	۰/۴۱۱**	۴/۱۹**	۵۹۱/۴**	۳۷۳/۰۷**
گرد و غبار	۱	۸۳/۷۲۲**	۶/۳×۱۰ $^{-۵}$**	۰/۰۳۳*	۷/۱۲ **	۴۹۳/۲ **	۲۲۵۷/۰۲**
باکتری × گرد و غبار	۲	۱۳/۷۹ *	۳/۵۵×۱۰ *	۰/۰۰۲ *	۲/۸۱ ns	۵۶/۶۱ *	۱۵۱/۰۷**
خطا	۱۲	۱/۷۴	۳/۸۴×۱۰	۰/۰۰۲	۰/۱۵۴	۵/۲۲	۴/۴۳
ضریب تغییرات (٪)		۰/۹۹	۳	۳/۱۹	۱/۵۵	۲/۷	۲/۲۹

ادامه جدول ۴-

منبع تغییر	درجه آزادی	کاتالاز	پراکسیداز	محتوی نسبی آب	بیومس خشک کل	شاخص کیفیت نهال
باکتری	۲	۰**	۰/۴**	۹۲/۵۱**	۲/۱۲۱ ns	۰/۵۲۱ **
گرد و غبار	۱	۳/۲×۱۰ $^{-۵}$**	۰/۰۸۵**	۲۳/۵۵*	۹/۱۳۷*	۰/۲۳۵ *
باکتری × گرد و غبار	۲	۶/۴۷×۱۰ $^{-۶}$**	۰/۰۱۷ **	۲/۶۱ ns	۱/۲۸ ns	۰/۰۰۳ ns
خطا	۱۲	۱/۴۳×۱۰ $^{-۷}$	۰/۰۰۱	۳/۱۵	۰/۷۹	۰/۰۱۷
ضریب تغییرات (٪)		۴	۱/۲۵	۰/۴۹۸	۲/۷۵	۴/۳۷

****، * و ns به‌ترتیب معنی‌دار در سطح یک درصد و پنج درصد و غیر معنی‌دار**



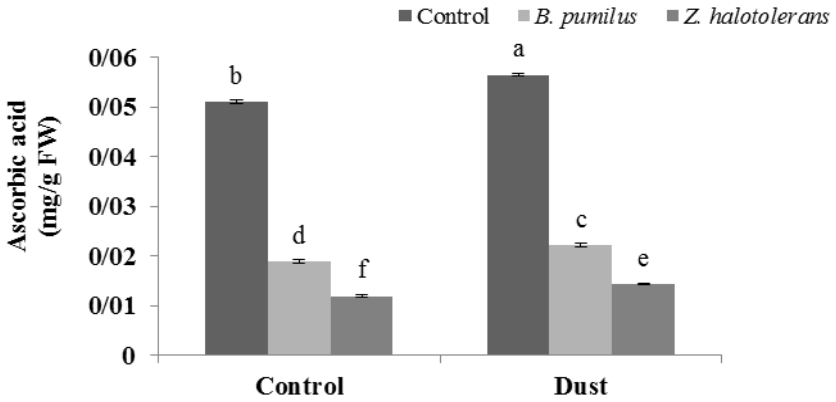
شکل ۱- تأثیر متقابل باکتری و گرد و غبار بر کلروفیل کل برگ (براساس آزمون دانکن، میانگین‌های دارای حروف لاتین مشابه فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح معنی‌دار ۵٪ هستند).

گرد و غبار و همچنین ۱۶ و ۶۶ درصدی به ترتیب با اعمال گرد و غبار نسبت به شاهد خود کاهش داد.

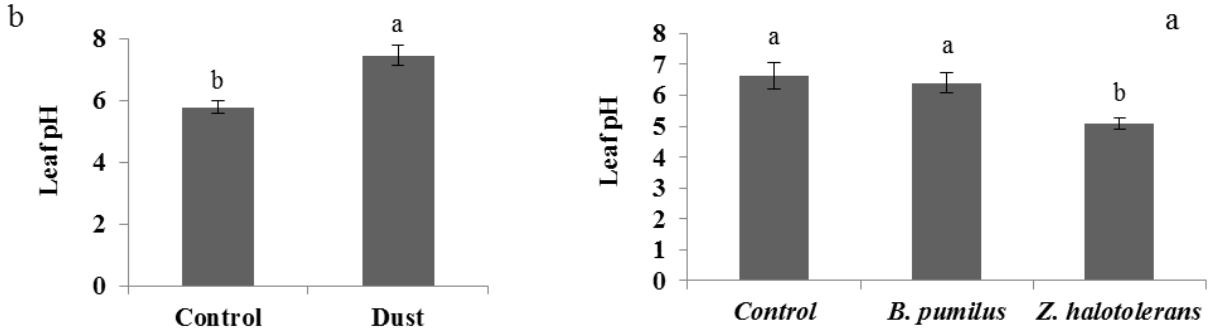
قندهای محلول: با توجه به نتایج مقایسه میانگین‌ها (شکل ۶)؛ اعمال تیمار گرد و غبار به تنهایی مقدار قندهای محلول را ۲۰۵ درصد افزایش داد. از طرفی سویه *Z. halotolerans* باعث کاهش معنی‌دار غلظت قندهای محلول به مقدار ۴۵ و ۵۳ درصد به‌ترتیب در شرایط بدون تیمار گرد و غبار و با اعمال گرد و غبار شد.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-10-12]

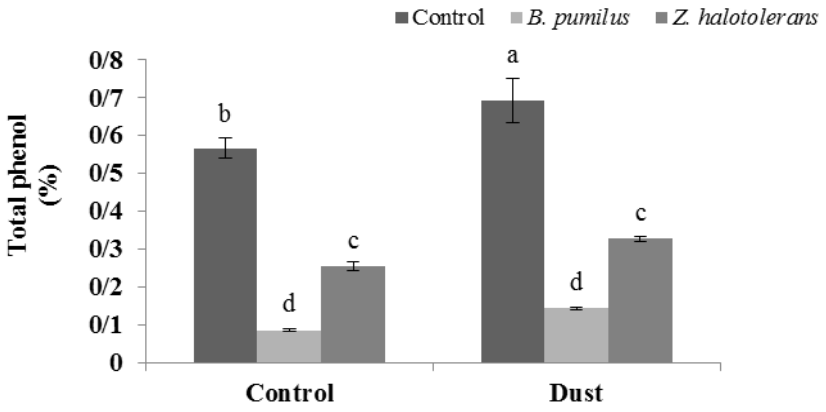
[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.56.8.2]



شکل ۲- تأثیر متقابل باکتری و گرد و غبار بر اسید آسکوربیک برگ (براساس آزمون دانکن، میانگین‌های دارای حروف لاتین مشابه فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح معنی‌دار ۵٪ هستند).



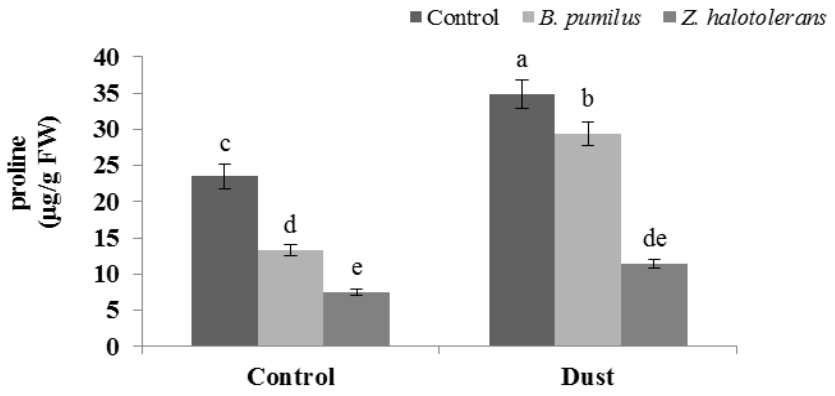
شکل ۳- تأثیر مجزای باکتری (a) و گرد و غبار (b) بر pH عصاره برگ (براساس آزمون دانکن، میانگین‌های دارای حروف لاتین مشابه فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح معنی‌دار ۵٪ هستند).



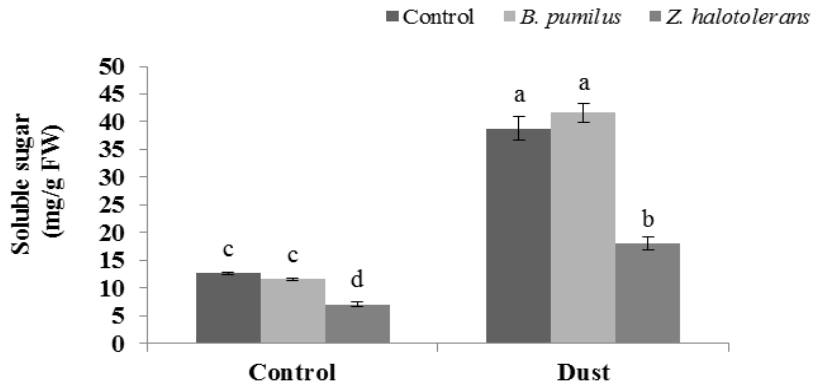
شکل ۴- تأثیر متقابل باکتری و گرد و غبار بر محتوی فنل کل برگ (براساس آزمون دانکن، میانگین‌های دارای حروف لاتین مشابه فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح معنی‌دار ۵٪ هستند).

فعالیت آنزیم کاتالاز: با توجه به نتایج مقایسه میانگین‌ها (شکل ۷)؛ کاربرد گرد و غبار به تنهایی فعالیت آنزیم کاتالاز را

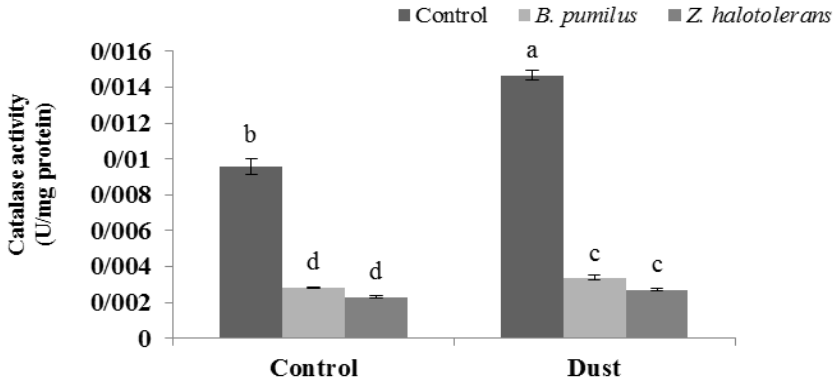
[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-10-12]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.56.8.2]



شکل ۵- تأثیر متقابل باکتری و گرد و غبار بر پرولین برگ (براساس آزمون دانکن، میانگین‌های دارای حروف لاتین مشابه فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح معنی‌دار ۵٪ هستند).



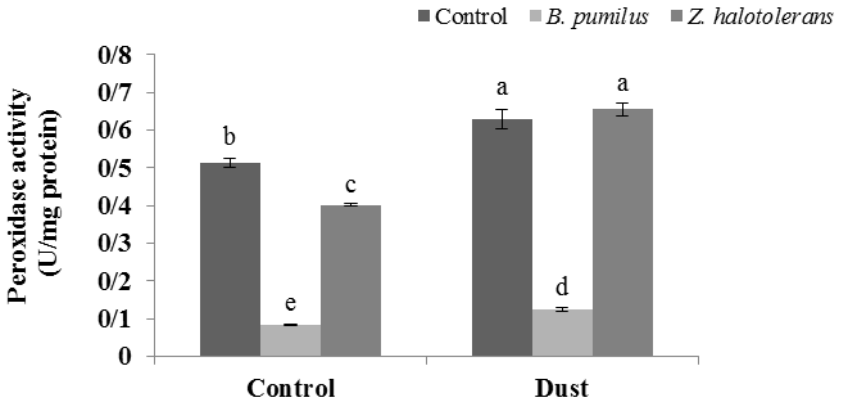
شکل ۶- تأثیر متقابل باکتری و گرد و غبار بر قندهای محلول برگ (براساس آزمون دانکن، میانگین‌های دارای حروف لاتین مشابه فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح معنی‌دار ۵٪ هستند).



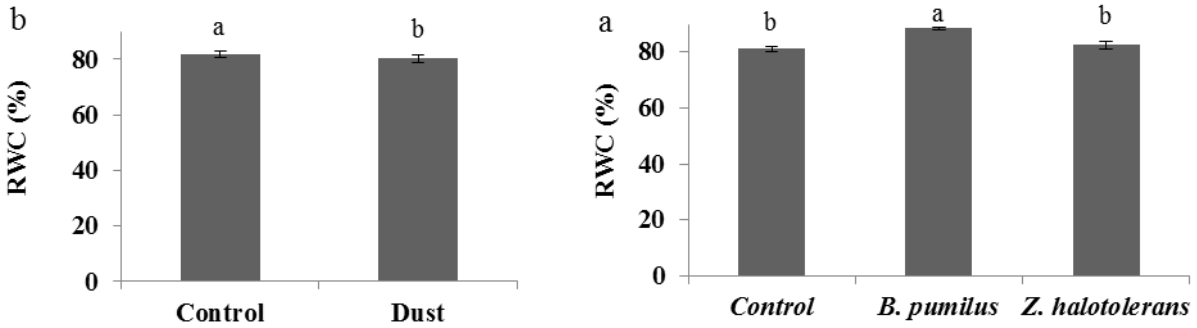
شکل ۷- تأثیر متقابل باکتری و گرد و غبار بر فعالیت کاتالاز برگ (براساس آزمون دانکن، میانگین‌های دارای حروف لاتین مشابه فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح معنی‌دار ۵٪ هستند).

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-10-12]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.56.8.2]



شکل ۸- تأثیر متقابل باکتری و گرد و غبار بر فعالیت پراکسیداز برگ (براساس آزمون دانکن، میانگین‌های دارای حروف لاتین مشابه فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح معنی‌دار ۵٪ هستند).



شکل ۹- تأثیر مجزای باکتری (a) و گرد و غبار (b) بر محتوای نسبی آب برگ (براساس آزمون دانکن، میانگین‌های دارای حروف لاتین مشابه فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح معنی‌دار ۵٪ هستند).

۵۳ درصد افزایش داد. در شرایط بدون اعمال گرد و غبار، تلقیح با باکتری‌های *B. Pumilus* و *Z. halotolerans* باعث کاهش فعالیت آنزیم کاتالاز به ترتیب ۷۲ و ۷۷ درصد نسبت به شاهد خود شد، همچنین در شرایط اعمال تیمار گرد و غبار نیز این سویه‌ها به ترتیب باعث کاهش ۶۱ و ۶۵ درصدی فعالیت آنزیم کاتالاز نسبت به شاهد خود شدند.

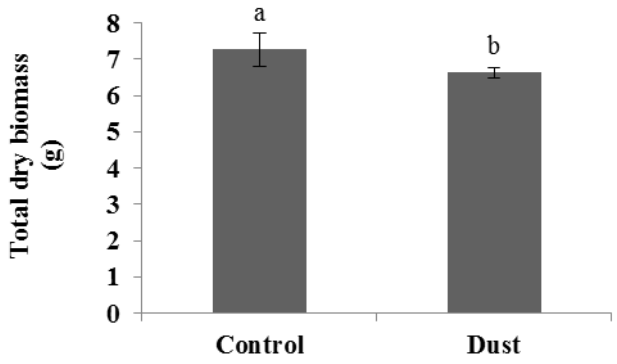
فعالیت آنزیم پراکسیداز: نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که اعمال تیمار گرد و غبار به تنهایی میزان فعالیت آنزیم پراکسیداز را ۲۴ درصد افزایش داد (شکل ۸). سویه *Z. halotolerans* میزان فعالیت آنزیم پراکسیداز را در شرایط و بدون اعمال تیمار گرد و غبار ۲۱ درصد کاهش داد، همچنین سویه *B. Pumilus* باعث کاهش معنی‌دار میزان آن به ترتیب به مقدار ۸۴ و ۷۹ درصد در شرایط بدون اعمال تیمار گرد و غبار اعمال تیمار گرد و غبار شد.

محتوای نسبی آب: نتایج مقایسه میانگین‌ها (شکل ۹) نشان داد که اعمال تیمار گرد و غبار به تنهایی محتوای نسبی آب (Relative Water Content) را ۳ درصد کاهش داد. سویه *B. pumilus* باعث افزایش معنی‌دار محتوای نسبی آب به مقدار ۹ درصد در شرایط بدون اعمال گرد و غبار شد.

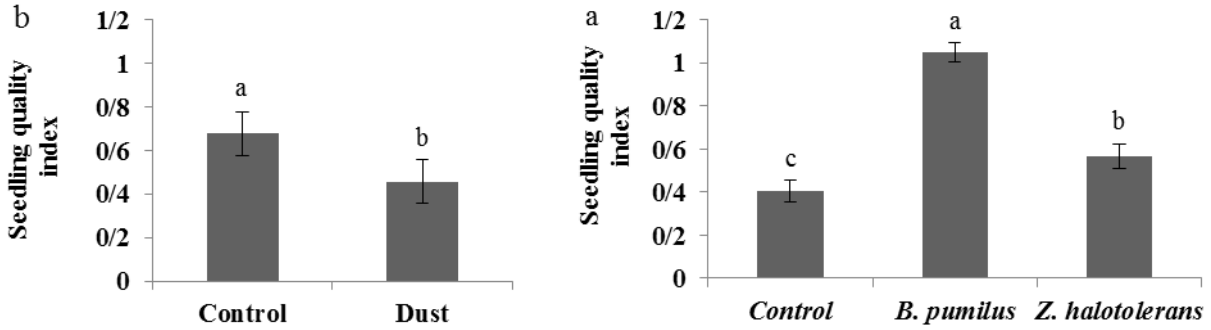
بیومس خشک کل: نتایج مقایسه میانگین‌ها (شکل ۱۰) نشان داد که اعمال تیمار گرد و غبار به تنهایی مقدار بیومس خشک کل (Total dry biomass) را ۹ درصد کاهش داد. مقدار بیومس خشک کل در تلقیح باکتری‌های *Z. halotolerans* و *B. pumilus* با نهال‌ها نسبت به شاهد معنی‌دار نشد.

شاخص کیفیت نهال: نتایج مقایسه میانگین‌ها (شکل ۱۱)

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-10-12]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.56.8.2]



شکل ۱۰- تأثیر گرد و غبار بر بیومس خشک کل (براساس آزمون دانکن، میانگین‌های دارای حروف لاتین مشابه فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح معنی‌دار ۵٪ هستند).



شکل ۱۱- تأثیر مجزای باکتری (a) و گرد و غبار (b) بر شاخص کیفیت نهال (براساس آزمون دانکن، میانگین‌های دارای حروف لاتین مشابه فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح معنی‌دار ۵٪ هستند).

نشان داد سویه *B. pumilus* باعث افزایش معنی‌دار شاخص کیفیت نهال به مقدار ۱۸۹ و ۱۰۸ درصد به ترتیب در شرایط بدون تیمار گرد و غبار و با اعمال تیمار گرد و غبار شد.

بحث

در این پژوهش، با اعمال تیمار گرد و غبار، مقدار کلروفیل کل در گونه گیاهی تاغ کاهش یافت. کاهش مقدار رنگیزه‌های فتوسنتزی تحت شرایط تنش گرد و غبار می‌تواند به‌دلیل فرونشست ذرات گرد و غبار بر روی سطح برگ‌ها باشد که با مانع شدن از جذب نور، سنتز کلروفیل را به مخاطره می‌اندازد و غلظت کلروفیل کاهش می‌یابد (Setsungnern *et al.*, 2018). استفاده از باکتری‌های محرک رشد گیاه در این پژوهش، باعث افزایش مقدار کلروفیل کل در گونه گیاهی تاغ شد. افزایش مقدار کلروفیل ممکن است به علت تولید سیدروفور و اکسین توسط این باکتری‌ها باشد. سیدروفور میل ترکیبی شدید برای پیوند با برخی از کاتیون‌ها از جمله آهن III دارد، که از عناصر ضروری برای ساخت کلروفیل است (Santoyo *et al.*, 2019). در شرایط وقوع تنش گرد و غبار همانند تنش خشکی؛ باکتری‌های محرک رشد گیاه با افزایش کارایی مصرف آب، تأثیر تنش بر فتوسنتز را کاهش و با افزایش غلظت مقادیر کلروفیل a و کلروفیل b منجر به بهبود فتوسنتز و رشد گیاه در شرایط تنش می‌شوند (Cheng *et al.*, 2007). در پژوهش حاضر، باکتری‌ها باعث افزایش میزان غلظت مقادیر کلروفیل a و کلروفیل b شده که با نتایج مطالعات دیگر در این زمینه (Najafi Zilaie *et al.*, 2022a, b; Zilaie *et al.*, 2022) مطابقت دارد.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-10-12]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.56.8.2]

اسید آسکوربیک و pH عصاره برگ، با اعمال تیمار گرد و غبار افزایش یافت. این دو فاکتور در برگ گیاهان وابستگی زیادی با هم دارند. فعالیت احیاءکنندگی اسید آسکوربیک به میزان اسیدیته سلول بستگی دارد (Uka *et al.*, 2017) و در pH های بالاتر فعال‌تر است (Agbaire and Esiefarienrhe, 2009). اسیدیته برگ تعیین‌کننده تشکیل اسید آسکوربیک از قندهای هگزوز است، به این صورت که افزایش pH احتمال این تبدیل را افزایش می‌دهد (Liu and Ding, 2008). ساخت و تولید آنتی‌اکسیدان غیرآنزیمی اسید آسکوربیک یکی از مهمترین مکانیسم‌های دفاعی گیاهان در برابر تنش‌های محیطی است. اسید آسکوربیک با پراکسید هیدروژن (H_2O_2) واکنش داده و در خنثی-کردن آن و دیگر ترکیبات از جنس اکسیژن فعال نقش دارد و منجر به حفاظت کاروتنوئیدها در تنش‌های مختلف محیطی می‌شود (Chao *et al.*, 2010). از طرف دیگر حضور ذرات گرد و غبار بر روی سطح برگ منجر به انحلال آنها در شیره سلولی و ایجاد شرایط قلیایی در سلول می‌گردد (Kumar Rai and Panda, 2014). در پژوهش حاضر، باکتری‌های مورد استفاده باعث کاهش معنی‌دار غلظت میزان اسید آسکوربیک برگ و pH عصاره برگ در تنش گرد و غبار شدند که در این میان باکتری *Z. halotolerans* بیشترین تأثیر را داشت. می‌توان نتیجه گرفت باکتری‌های محرک رشد گیاه با تأثیرگذاری بر روی میزان فعالیت سیستم‌های آنتی‌اکسیدان و تغییر در مکانیسم دفاعی گیاه با اکسیژن‌های رادیکال آزاد مقابله کرده و این امر خود سبب کاهش میزان اسید آسکوربیک در حالت تنش گرد و غبار شده است (Gadd, 2004). کاهش غلظت اسید آسکوربیک در شرایط تنش ناشی از تلقیح باکتری‌های محرک رشد گیاه در مطالعات دیگر نیز گزارش شده است (Foryer and Noctor, 2000).

غلظت فنل کل در برگ تاغ با اعمال تیمار گرد و غبار افزایش یافت. سنتز و تجمع متابولیت‌های ثانویه مانند فنل‌ها از مکانیسم‌های تحمل گیاهان در برابر تنش است (Wakeela *et al.*, 2010). تنش گرد و غبار، باعث کاهش دسترسی گیاه به CO_2، ممانعت از تثبیت کربن و کاهش متابولیت‌های ثانویه (که سنتز آنها بر پایه کربن است) شده که نتیجه آن افزایش بیش از حد گونه‌های ROS و صدمه به عملکرد کلروپلاست‌ها و در نهایت اختلال در فرآیند فتوسنتز است (Ghanem *et al.*, 2021). از وظایف اصلی این متابولیت‌ها می‌توان به نقش آنتی‌اکسیدانی و محافظت از سیستم فتوسنتزی در برابر فتواکسیداسیون اشاره کرد که در گیاهان در شرایط تنش‌های محیطی نقش محافظتی ایفا می‌نمایند (He *et al.*, 2010)، این ترکیبات نه تنها رادیکال‌های آزاد اکسیژن (ROS) را از بین می‌برد، بلکه از تولید بیشتر رادیکال‌های آزاد در گیاه ممانعت به عمل می‌آورد (Hasanuzzaman *et al.*, 2019; Singh, 2004).

افزایش و تجمع میزان متابولیت‌های ثانویه و مقدار ترکیبات فنلی در شرایط تنش محیطی به عنوان یک سیگنال عمل کرده که می‌تواند با راه‌اندازی زنجیره‌ای از واکنش‌ها در نهایت سبب افزایش تحمل تنش در گیاهان شوند (Mosleh Arany *et al.*, 2008). تأثیر طولانی‌مدت گرد و غبارهای قلیایی و اسیدی و ته‌نشینی آن بر روی برگ‌های گیاه می‌تواند باعث نکروزه شدن و افزایش دمای برگ شود (Sarala and Saravana, 2012) و این امر باعث کاهش راندمان فتوسنتزی و تولید ترکیبات گیاهی مانند فلاونوئید می‌شود (George and Ilias, 2007). در پژوهش حاضر، باکتری‌های مورد استفاده باعث کاهش معنی‌دار غلظت فنل کل برگ در تنش گرد و غبار شدند. کاهش فنل کل در نتیجه تلقیح نشان می‌دهد که سویه‌های باکتریایی توانسته‌اند اثرات منفی تنش گرد و غبار را بر گیاه کاهش داده و در نتیجه گیاهان تلقیح شده با سویه‌های باکتریایی کمتر تحت تأثیر تنش قرار گرفته و فنل کمتری تولید می‌کنند. کاهش غلظت فنل (Saleh *et al.*, 2019) در حضور باکتری‌های محرک رشد گیاه در مطالعات دیگر هم بیان شده است.

نتایج این تحقیق نشان داد که با اعمال گرد و غبار، مقدار پرولین، فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز افزایش یافت. پرولین، نقش اساسی در تنظیم اسمزی در گیاهان دارد (Saddiq *et al.*, 2020). تجمع اسیدآمینه پرولین رابطه‌ای مثبت

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-10-12]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.56.8.2]

با افزایش مقاومت گیاه به کم آبی در تنش‌های شوری و خشکی دارد و در صورت نیاز تجزیه و به‌عنوان منبع نیتروژن و انرژی مورد استفاده گیاه قرار می‌گیرد (Mosleh Arani *et al.*, 2018). در شرایط تنش پرولین، کاتالاز و پراکسیداز نقش آنتی‌اکسیدانی داشته و در محافظت از ساختارهای سلولی، ساختمان ماکرومولکول‌ها و از بین بردن رادیکال‌های آزاد کاربرد دارند (Abdelaal *et al.*, 2021). پرولین نقش بسیار مهمی در گیاهان داشته و آنها را از تنش‌های مختلف از جمله گرد و غبار محافظت می‌کند (Yaghmaei *et al.*, 2020). افزایش محتوی پرولین با اعمال گرد و غبار بیانگر اختلال در تبادل گازها به دلیل نشست گرد و غبار بر روی سطوح گیاه است. تلقیح با باکتری‌های محرک رشد گیاه باعث کاهش محتوی پرولین در گونه‌ها شد، در این میان سویه *Z. halotolerans* بیشترین تأثیر را در کاهش میزان پرولین، فعالیت کاتالاز و سویه *B. pumilus* بیشترین تأثیر را در کاهش پراکسیداز گونه تاغ داشت. باکتری‌های محرک رشد گیاه با افزایش جذب پتاسیم از طریق اسیدی‌کردن محیط ریزوسفر، افزایش جذب آب از طریق تولید اکسین و افزایش حجم ریشه، در کاهش تنش مشارکت می‌کنند، که این خود کاهش تولید آنتی‌اکسیدان‌ها را توجیه می‌کند (Abd-Allah *et al.*, 2018). کاهش محتوای پرولین در شرایط تنش‌های زیستی در تیمارهای تلقیحی با باکتری محرک رشد گیاه در مطالعات دیگر نیز گزارش شده است (Najafi Zilaie *et al.*, 2022a,b; Zilaie *et al.*, 2022).

نتایج این تحقیق نشان داد که با اعمال گرد و غبار، میزان قندهای محلول افزایش یافت. قندهای محلول یکی از اسمولیت‌های سازگار در داخل سلول‌های گیاهی هستند که به عنوان تنظیم‌کننده فعالیت اسمزی فعالیت داشته و هنگام بروز تنش محیطی بر محتوای این ترکیبات در داخل سلول افزوده می‌شود (Singh and Jha, 2016; De Oliveira *et al.*, 2013)، دلیل این افزایش در شرایط تنش را می‌توان کاهش در میزان فتوسنتز، شکستن قندهای بزرگ (نشاسته) به قندهای کوچک (گلوکز) و یا مصرف کمتر کربوهیدرات توسط گیاه دانست (Bohnert *et al.*, 1999; Karimi *et al.*, 2009). افزایش و تجمع قندهای محلول واکنشی سریع نسبت به تغییرات میزان محتوای نسبی آب و پتانسیل آب برگ‌ها است (Geholt *et al.*, 2005)؛ که کاهش پتانسیل اسمزی و به دنبال آن پتانسیل آبی را سبب شده و جذب آب را به سلول‌ها آسان می‌کند. فرونشست و تجمع ذرات ریز گرد و غبار بر روی سطوح اندام‌های هوایی گیاه با کاهش غلظت کلروفیل اثرات سوء و نامطلوبی بر کربوهیدرات و قندهای محلول هالوفیت‌ها دارد (Amal and Mohamed, 2012) که درنهایت سبب کاهش تولید اولیه آن می‌شود (Meravi *et al.*, 2021)؛ به نظر می‌رسد در شرایط گرد و غبار با تجمع گرد و غبار و ایجاد حالت سایه بر سطح گیاه، فتوسنتز برگ کاهش یافته که خود درنهایت منجر به شکستن قندهای بزرگ و افزایش قندهای محلول خواهد شد. در پژوهش حاضر، تلقیح با باکتری‌های محرک رشد گیاه باعث کاهش قندهای محلول در گونه‌ها شد، در این میان سویه *Z. halotolerans* بیشترین تأثیر را در کاهش میزان قندهای محلول داشت. می‌توان نتیجه گرفت که افزایش غلظت کلروفیل در حضور باکتری‌های محرک رشد گیاه نسبت به شاهد، می‌تواند حاکی از کاربرد و تأثیر مثبت باکتری‌های مذکور در افزایش فرآیند فتوسنتز به واسطه افزایش میزان کلروفیل و در نتیجه ممانعت از شکستن قندهای بزرگ ذخیره در گونه‌های گیاهی و حفظ عملکرد این گیاه در شرایط تنش قلمداد گردد. در پژوهش حاضر، تلقیح با باکتری‌های محرک رشد گیاه باعث کاهش قندهای محلول در تاغ شد، که با نتایج (Najafi Zilaie *et al.*, 2022a) مطابقت دارد.

با اعمال تیمار گرد و غبار، میزان محتوای نسبی آب (RWC) گونه تاغ کاهش یافت. محتوای نسبی آب برگ شاخصی مناسب از وضعیت آبی در اندام گیاهی است که به عنوان یک معرف جهت تحمل تنش محیطی پیشنهاد و توانایی آن گیاه برای حفظ آب در شرایط مختلف تنش را نشان می‌دهد (Sharifi Rad *et al.*, 2014). ذرات گرد و غبار با افزایش نفوذپذیری سلول‌های گیاهی باعث از دست رفتن آب و مواد غذایی محلول برگ و نهایتاً پیری زودرس برگ می‌شود. از

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-10-12]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.56.8.2]

این‌رو گیاهان با محتوای نسبی آب بیشتر در برابر گرد و غبار مقاومتر هستند (Taheri Analojeh *et al.*, 2016). در تحقیقات مشابه اعمال تیمار گرد و غبار به کاهش محتوای نسبی آب منجر شد (Yaghmaei *et al.*, 2020; Najafi Zilaie *et al.*, 2022a). تلقیح با سویه *B. pumilus* بیشترین تأثیر را در افزایش میزان محتوای نسبی آب برگ تاغ داشت. یکی از دلایل افزایش RWC در گیاهان تلقیح شده می‌تواند تولید هورمون‌های رشد مانند اکسین و در نتیجه افزایش طول و وزن بیشتر ریشه یا ریشه‌چه در مقایسه با گیاهان شاهد تحت شرایط تنش باشد (Ansari *et al.*, 2019). این باکتری‌ها همچنین ممکن است تولید اسید آبسزیک را افزایش داده (Naz *et al.*, 2009)؛ و از این طریق اثرات منفی تنش را بر روی هدایت روزنه‌ای و فتوسنتز و حساسیت گیاه به کمبود آب را کاهش دهند (Etesami and Beattie, 2018). به نظر می‌رسد گیاهان تلقیح‌شده با باکتری‌های محرک رشد گیاه توانایی تغییر ساختار سیستم ریشه جانبی و افزایش RWC را دارند (Bertrand *et al.*, 2015). افزایش RWC برگ در شرایط تنشی در تیمارهای تلقیحی با باکتری محرک رشد گیاه در مطالعات دیگر نیز گزارش شده است (Shilev, 2020; Ilyas *et al.*, 2020).

در این پژوهش، با اعمال گرد و غبار، مقدار بیومس خشک کل و شاخص کیفیت نهال گیاه کاهش یافت. سطوح برگ پوشیده شده با ذرات گرد و غبار نور کمتری برای انجام فرآیند فتوسنتز دریافت می‌کنند و این امر منجر به بسته شدن روزنه برگ‌ها و در نتیجه کاهش هدایت روزنه‌ای آنها شود، کاهش هدایت روزنه‌ای در گیاهان نهایتاً بر تشکیل زیست‌توده و عملکرد گیاه اثر منفی می‌گذارد. تنش گرد و غبار با کاهش میزان موجودی آب برگ بر روی وزن خشک ریشه و اندام هوایی تأثیر معنی داری داشته و عموماً تولید ماده خشک در کلیه اندام‌های گیاهی را کاهش می‌دهد (Bauerle *et al.*, 2006)؛ کاهش مقدار بیومس خشک کل گیاه ناشی از تنش گرد و غبار در مطالعات دیگر نیز گزارش شده است (Yaghmaei *et al.*, 2020). در پژوهش حاضر، تلقیح باکتری‌های محرک رشد گیاه در تولید ماده خشک گونه گیاهی مذکور تأثیر معنی‌داری نداشت. شاخص کیفیت نهال در تیمارهای تلقیح با جدایه‌های باکتری در سطح تیمار تنش در مقایسه با شاهد بهبود یافت، بطوریکه که سویه *B. Pumilus* بیشترین تأثیر را داشت. باکتری‌های محرک رشد گیاه علاوه بر تأمین فسفر مورد نیاز گیاه، از طریق سازوکارهای دیگری مانند تولید آنزیم ACC- دی‌آمیناز، تولید و افزایش ترکیبات سازگار محلول (اسمولیت) و کمک به تعادل یونی، تولید آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی، القاء مقاومت سیستمیک در گیاه، مقاومت گیاهان را در مقابل تنش‌های محیطی افزایش داد (Etesami and Maheshwari, 2018) و در نتیجه رشد و نمو نهال بهبود می‌یابد. بررسی‌های مختلف تأثیر مثبت کاربرد باکتری‌های محرک رشد گیاه بر ساختار ترکیبی شاخص کیفیت نهال گیاهان مختلف را نشان داده‌اند (Bhatt *et al.*, 2020).

نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد که باکتری‌های محرک رشد گیاه، ویژگی‌های فیزیولوژیکی و رویشی نهال‌های تاغ تحت تنش گرد و غبار را نسبت به تیمار شاهد بهبود بخشیدند. همچنین می‌توان نتیجه گرفت ریزوسفر گیاهان شورپسند منبع مناسبی برای جداسازی باکتری‌های محرک رشد گیاه هستند؛ و می‌توانند نویدبخش در ایجاد پوشش گیاهی و افزایش ترسیب کربن باشند. با این حال، اجرای پژوهش‌های تکمیلی به‌صورت میدانی در رویشگاه این گونه بیابانی ضروری است تا عملکرد و کارایی این سویه‌های باکتریایی به‌عنوان زادمایه کود زیستی مناسب برای مقابله با شرایط تنش شوری و گرد و غبار اثبات شود.

منابع

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-10-12]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.56.8.2]

احقاقی، رویا، مصلح آرانی، اصغر، عظیم‌زاده، حمیدرضا.، زرگران، محمد و کیانی، بهمن (۱۳۹۴). بررسی برخی از خصوصیات اکولوژیک چهار گونه اسکنبیل در استان یزد. *مجله تحقیقات مرتع و بیابان ایران*، ۲۲(۱)، ۱۶۸-۱۸۳. https://doi.org/10.22092/ijrdr.2015.13236

بی‌نام. (۱۳۹۶). طرح جامع مطالعاتی- اجرایی مقابله با پدیده گرد و غبار در کانون‌های داخلی خوزستان، کانون گرد و غباری جنوب شرقی اهواز، فاز اول: حدفاصل اهواز- ماهشهر. سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، خوزستان.

مصلح آرانی، اصغر، رفیعی، آذر، تابنده، آفاق و عظیم‌زاده، حمیدرضا. (۱۳۹۶). بررسی پاسخ مورفولوژیک و فیزیولوژیک اندام هوایی و زیرزمینی گیاه لیلکی (*Gleditschia caspica*) در برابر تنش شوری. *مجله زیست‌شناسی گیاهی*، ۹(۴)، ۱-۱۲. https://doi.org/ 10.22108/ijpb.2017.94779.0

Abd-Allah, E. F., Alqarawi, A. A., Hashem, A., Radhakrishnan, R., Al-Huqail, A. A., Al-Otibi, F. O. N., Malik, J. A., Alharbi, R. I., & Egamberdieva, D. (2018). Endophytic bacterium *Bacillus subtilis* (BERA 71) improves salt tolerance in chickpea plants by regulating the plant defense mechanisms. *Journal of Plant Interactions, 13*(1), 37-44. https://doi.org/10.1080/17429145.2017.1414321.

Abdelaal, K., AlKahtani, M., Attia, K., Hafez, Y., Kiraly, L., & Kunstler, A. (2021). The role of plant growth-promoting bacteria in alleviating the adverse effects of drought on plants. *Biology, 10*(6), 520. https://doi.org/10.3390/biology10060520.

Aebi, H. (1984). Catalase *in vitro*. *Methods Enzymol, 105*, 121-126. https://doi.org/10.1016/S0076-6879(84)05016-3.

Agbaire, P. O., & Esiefarienrhe, E. (2009). Air pollution tolerance indices (apti) of some plants around otorogun gas plant in Delta State, Nigeria. *Applied Sciences and Environmental Management, 13*(1), 11-14. https://doi.org/10.4314/jasem.v13i1.55251.

Ahmadi Foroushani, M., Opp, C., & Groll, M. (2021). Investigation of aeolian dust deposition rates in different climate zones of Southwestern Iran. *Atmosphere, 12*(2), 229. https://doi.org/10.3390/atmos12020229.

Amal, M. A. R., & Mohamed, M. I. (2012) Effect of cement dust deposition on physiological behaviors of some halophytes in the salt marshes of Red Sea. *Egyptian Academic Journal of Biological Sciences, 3*(1), 1-11. https://doi.org/10.21608/EAJBSH.2012.17001.

Amini Hajiabadi, A., Mosleh Arani, A., Ghasemi, S., Rad, M. H., Etesami, H., Shabazi Manshadi, S., & Dolati, A. (2021). Mining the rhizosphere of halophytic rangeland plants for halotolerant bacteria to improve growth and yield of salinity-stressed wheat. *Plant Physiology and Biochemistry, 163*, 139-153. https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2021.03.059.

Ansari, M., Shekari, F., Mohammadi, M. H., Juhos, K., Vegvari, G., & Biro, B. (2019). Salt-tolerant plant growth-promoting bacteria enhanced salinity tolerance of salt-tolerant alfalfa (*Medicago sativa* L.) cultivars at high salinity. *Acta Physiologiae Plantarum, 41*(12), 195. https://doi.org/10.1007/s11738-019-2988-5.

Bahrami, A., Jariani, M., & Mohamadkhan, S. H. (2003). The role of *Haloxylon* in wind erosion. In: Proceedings of the 1st National Conference on Saxaul (*Haloxylon* sp.) and Saxaul Plantation in I.R.Iran.

Bates, L. S., Waldren, R. P., & Teare, I. D. (1973). Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant and Soil, 39*(2), 205-207. https://doi.org/10.1007/BF00018060.

Bauerle, W. L., Wang, G. G., Bowden, J. D., & Hong, C. M. (2006). An analysis of ecophysiological responses to drought in American chestnut. *Annals of Forest Science, 63*(8), 833-842. https://doi.org/10.1093/jxb/erm177.

Bertola, M., Mattarozzi, M., Sanangelantoni, A. M., Careri, M., & Visioli, G. (2019). PGPB colonizing three-year biochar-amended soil: Towards biochar-mediated biofertilization. *Journal of Soil Science and Plant Nutrient, 19*, 841–850. https://doi.org/10.1007/s42729-019-00083-2.

Bertrand, A., Dhont, C., Bipfubusa, M., Chalifour, F., Drouin, P., & Beauchamp, C. J. (2015). Improving salt stress responses of the symbiosis in alfalfa using salt-tolerant cultivar and rhizobial strain. *Applied Soil Ecology, 87*, 108–117. https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2014.11.008.

Bhardwaj, D., Ansari, M. W., Sahoo, R. K., & Tuteja, N. (2014). Biofertilizers function as key player in sustainable agriculture by improving soil fertility, plant tolerance and crop productivity. *Microbial Cell Factories, 13*(66), 1-10. https://doi.org/10.1186/1475-2859-13-66.

Bhatt, S. H., Pandhi, N., & Raghav, R. (2020). Improved salt tolerance and growth parameters of groundnut *(Arachis hypogaea* L.) employing Halotolerant *Bacillus cereus SVSCD1* isolated from Saurashtra Region, Gujarat. *Ecology, Environment and Conservation Paper, 26*, 199-212.

Bohnert, H. J., Nelson, D. E., & Jensen, R. G. (1999) Adaptations to environmental stresses. *The Plant Cell, 7*(7), 1099-1111. https://doi.org/10.1105/tpc.7.7.1099.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-10-12]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.56.8.2]

Chao, Y. Y., Hong, C. Y., & Kao, C. H. (2010). The decline in ascorbic acid content is associated with cadmium toxicity of rice seedlings. *Plant Physiology and Biochemistry, 48*(5), 374-381. https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2010.01.009.

Cheng, Z., Park, E., & Glick, B. R. (2007). 1-Aminocyclopropane-1-carboxylate (ACC) deaminase from *Pseudomonas putida* UW4 facilitates the growth of canola in the presence of salt. *Canadian Journal of Microbiology, 53*(7), 912-8. https://doi.org/10.1139/W07-050.

Compant, S., Samad, A., Faist, H., & Sessitsch, A. (2019). A review on the plant microbiome: Ecology, functions, and emerging trends in microbial application. *Journal of Advanced Research, 19*, 29-37. https://doi.org/10.1016/j.jare.2019.03.004.

De Oliveira, V., Camelo Marques, E., De Lacerda, F., Tarquinio Prisco, J., & Gomes-Filho, E. (2013). Physiological and biochemical characteristics of *Sorghum bicolor* and *Sorghum sudanese* subjected to salt stress in two stage of development. *African Journal of Agricultural Research, 8*(4), 660-670. https://doi.org/10.5897/AJAR12.861.

Dickson, A., Leaf, A. L., & Hosner, J. F. (1960). Quality appraisal of white spruce and white pine seedling stock in nurseries. *The Forestry Chronicle, 36*(1), 10-13. https://doi.org/10.5558/tfc36010-1.

Dumroese, R. K., Williams, M. I., Stanturf, J. A., & Clair, J. B. (2015). Considerations for restoring temperate forests of tomorrow: forest restoration, assisted migration, and bioengineering. *New Forest, 46*, 947–964. https://doi.org/10.1007/s11056-015-9504-6.

Ebrahimi Mohmmad Abadi, N., Kaboli, S. H., Rejali, F., & Zolfaghari, A. A. (2021). Promotion of the seedling growth of *Nitraria schoberi* L. in cultivating trays and seedling bags with seed priming. *Desert, 26*(1), 43-53. https://doi.org/10.22059/jdesert.2020.299139.1006769.

El-Nashaar, F., Hafez, Y. M., Abdelaal, K. A. A., Abdelfatah, A., Badr, M., El-Kady, S., & Yousef, A. (2020). Assessment of host reaction and yield losses of commercial barley cultivars to Drechslera teres the causal agent of net blotch disease in Egypt. *Fresenius Environmental Bulletin, 29*(4) 2371–2377.

Esmaeel, Q., Vilanova, M. L., Rondeau, M., Leclere, V., Clement, C., Jacquard, C., Sanchez, L., & Ait, B. E. (2018). *Paraburkholderia phytofirmans* PsJN-Plants interaction: From perception to the induced mechanisms. *Frontiers in Microbiology, 9*, 2093. https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.02093.

Etesami, H., & Beattie, G. A. (2018). Mining halophytes for plant growth promoting halotolerant bacteria to enhance the salinity tolerance of nonhalophytic crops. *Frontiers in Microbiology, 9*, e148. https://doi.org/10.1007/978-981-10-3473-2_7.

Etesami, H., & Maheshwari, D. K. (2018). Use of plant growth promoting rhizobacteria (PGPRs) with multiple plant growth promoting traits in stress agriculture: Action mechanisms and future prospects. *Ecotoxicology and Environmental Safety, 156*, 225–246. https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.03.013.

Foryer, C., & Noctor, G. (2000). Oxygen processing in photosynthesis: Regulation and signaling. *New Phytologist, 146*(3), 359-388. https://doi.org/10.1046/j.1469-8137.2000.00667.x.

Gadd, G. M. (2004). Microbial influence on metal mobility and application for bioremediation. *Geoderma, 122*(2-4), 109-119. https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2004.01.002.

Geholt, H. S., Purohit, A., & Shekhawat, N. S. (2005). Metabolic changes and protein patterns associated with adaptation to salinity in *Sesamun indicum* cultivars. *Journal of Cell and Molecular Biology, 4*, 31-39.

George, D. N., & Ilias, F. I. (2007). Effects of inert dust on olive (*Olea uropaea* L.) leaf physiological parameters. *Environmental Science and Pollution Research, 14*(3), 212-214. https://doi.org/ 10.1065/espr2006.08.327.

Ghanem, A. F. M., Mohamed, E., Kasem, A. M. M. A., & El-Ghamery, A. A. (2021). Differential salt tolerance strategies in three halophytes from the same ecological habitat: Augmentation of antioxidant enzymes and compounds. *Plants, 10*, 2-21. https://doi.org/10.3390/plants10061100.

Hajiabadi, A, A., Mosleh Arani, A., & Etesami, H. (2022). Salt-tolerant genotypes and halotolerant rhizobacteria: A potential synergistic alliance to endure high salinity conditions in wheat. *Environmental and Experimental Botany, 202*, 105033. https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2022.105033.

Hasanuzzaman, M., Bhuyan, M., Anee, T. I., Parvin, K., Nahar, K., Mahmud J. A., & Fujita, M. (2019). Regulation of ascorbate-glutathione pathway in mitigating oxidative damage in plants under abiotic stress. *Antioxidants, 8*(9), 384-390. https://doi.org/10.3390/antiox8090384.

He, F., Mu, L., Yan, G. L., Liang, N. N., Pan, Q. H., Wang, J., & Duan, C. Q. (2010). Biosynthesis of anthocyanins and their regulation in colored grapes. *Molecules, 15*(12), 9057-9091. https://doi.org/10.3390/molecules15129057.

Hemeda, H. M., & Kelin, B. P. (1990). Effects of naturally occurring antioxidants on peroxidase activity of vegetables extracts. *Journal of Food Science and Technology, 55*(4), 184-185. https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1990.tb06048.x.

Ilyas, N., Mazhar, R., Yasmin, H., Khan, W., Iqbal, S., El Enshasy, H., & Dailin, D. J. (2020). Rhizobacteria isolated from saline soil induce systemic tolerance in wheat (*Triticum aestivum* L.) against salinity stress. *Agronomy, 10*(989), 1-19. https://doi.org/10.3390/agronomy10070989.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-10-12]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.56.8.2]

Javanmard, Z., Kouchaksaraei Tabari, M., Bahrami, H., Hosseini, S. M., Sanavi, S., & Struve, D. (2019). Dust collection potential and air pollution tolerance indices in some young plant species in arid regions of Iran. *Forest Biogeosciences and Forestry, 12*, 558-564. https://doi.org/10.3832/ifor3063-012.

Jha, B., Gontia, I., & Hartmann, A. (2012). The roots of the halophyte *Salicornia brachiata* are a source of new *halotolerant diazotrophic* bacteria with plant growth-promoting potential. *Plant and Soil, 356*(1-2), 265-277. https://doi.org/10.1007/s11104-011-0877-9.

Karimi, H., Zaidali, A., & Omidipour, R. (2018). Evaluation of Yield of Rained and Irrigated Wheat under Drought Stress in Ilam Province. The 2th International Conference on Dust, Ilam, Iran.

Karimi, S., Rahemi, M., Maftoun, M., & Tavallali, V. (2009). Effect of long–term salinity on growth and performance of two pistachio (*Pistacia vera* L.) rootstocks. *Australian Journal of Crop Science, 3*(3),1630-1639.

Kochert, G. (1978). Carbohydrate determination by the phenol sulfuric acid method. In: Handbook of Physiological Method (eds. Helebust, J. A. and Craig, J. S.) Cambridge University Press Cambridge.

Kumar Rai, P., & Panda, L. L. S. (2014). Leaf dust deposition and its impact on biochemical aspect of some roadside plants of Aizawl, Mizoram, North East India. *International Research Journal of environment Sciences, 3*(11), 14-19.

Li, X., Sun, P., Zhang, Y., Jin, C., & Guan, C. (2020). A novel PGPR strain *Kocuria rhizophila* Y1 enhances salt stress tolerance in maize by regulating phytohormone levels, nutrient acquisition, redox potential, ion homeostasis, photosynthetic capacity and stress-responsive genes expression. *Environmental and Experimental Botany, 174*, 104023. https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2020.104023.

Lichtenthaler, H. K. (1987). Chlorophyll and carotenoids: Pigments of photosynthetic bio-membranes. *Methods in Enzymology, 148*, 350-382. https://doi.org/10.1016/0076-6879(87)48036-1.

Liu, Y. J., & Ding, H. (2008). Variation in air pollution tolerance index of plants near a steel factory: Mplications for Iandscape plant species selection for industrial areas. *Wseas Transactions on Environment and Development, 1*(4), 24-32.

Loni, A., Radnezhad, H., Martynova-Van Kley, A., Hassanvand, A., Sadeghi, M., & Zaremanesh, H. (2018). The role of *Haloxylon* plantations in improving carbon sequestration potential of sand dunes of Iran. *Applied Ecology and Environmental Research, 16*(1), 321-333. https://doi.org/10.15666/aeer/1601_321333.

Marsafari, M., Asoudar, M. A., & Kordi, S. (2011). Aerosol Resources and Adjust their Harm Effects. 2th National Conference on Critical Management. Tehran, Iran.

Mc Donald, S., Prenzler, P. D., Autolovich, M., & Robards, K. (2001). Phenolic content and antioxidant activity of olive extracts. *Food Chemistry, 73*(10), 73-84. https://doi.org/10.1016/S0308-8146(00)00288-0.

Meravi, N., Singh, P. K., & Prajapati, S. K. (2021). Seasonal variation of dust deposition on plant leaves and its impact on various photochemical yields of plants. *Environmental Challenges, 4*, 1-6. https://doi.org/10.1016/j.envc.2021.100166.

Mosleh Arany, A., De Jong, T. J., Kim, H. K., Van Dam, N. M., Choi, Y. H., Verpoorte, R., & Van der Meijden, E. (2008). Glucosinolates and other metabolites in the leaves of *Arabidopsis thaliana* from natural populations and their effects on a generalist and a specialist herbivore. *Chemoecology, 18*(2), 65-71. https://doi.org/10.1007/s00049-007-0394-8.

Mosleh Arany, A., Jong, T. J., Kim, H. K., Dam, N. M., Choi, Y. H., Mil, H. G. J., Verpoorte, R., & Meijden, E. (2009). Genotype–environment interactions affect flower and fruit herbivory and plant chemistry of *Arabidopsis thaliana* in a transplant experiment. *Ecological Research, 24*(5), 1161-1171. https://doi.org/10.1007/s11284-009-0597-2.

Mukherjee, S. P., & Choudhuri, M. A. (1983). Implications of water stress-induced changes in the levels of endogenous ascorbic acid and hydrogen peroxide in *Vigna* seedlings. *Physiologia Plantarum, 58*(2), 166-170. https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1983.tb04162.x.

Najafi Zilaie, M., Mosleh Arani, A., Etesami, H., & Dinarvand, M. (2022a). Improved salinity and dust stress tolerance in the desert halophyte *Haloxylon aphyllum* by halotolerant plant growth-promoting rhizobacteria. *Frontiers in Plant Science, 13*, 948260. https://doi.org/10.3389/fpls.2022.948260.

Najafi Zilaie, M., Mosleh Arani, A., Etesami, H., & Dinarvand, M. (2022b). Halotolerant rhizobacteria enhance the tolerance of the desert halophyte *Nitraria schoberi* to salinity and dust pollution by improving its physiological and nutritional status. *Applied Soil Ecology, 179*, 1-16. https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2022.104578.

Naseri, H. R., Shakeri, R., Yousefi Khanghah, S., & PourRezaee, J. (2019). Assessment of soil carbon storage in Saxaul forests in the Buin Zahra desert of Iran. *International scientific journal of mechanization in agriculture and conserving of the resources, 65*(6), 226-227.

Naz, I., Bano, A., & Ul-Hassan, T. (2009). Isolation of phytohormones producing plant growth promoting rhizobacteria from weeds growing in Khewra salt range, Pakistan and their implication in providing salt tolerance to *Glycine max* L. *African Journal of Biotechnology, 8*(21), 5762-5768. https://doi.org/10.5897/AJB09.1176.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-10-12]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.56.8.2]

Noori, F., Etesami, H., Zarini, H. N., Khoshkholgh-Sima, N. A., Salekdeh, G. H., & Alishahi, F. (2018). Mining alfalfa (*Medicago sativa* L.) nodules for salinity tolerant non-rhizobial bacteria to improve growth of alfalfa under salinity stress. *Ecotoxicology and Environmental Safety, 162*, 129-138. https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.06.092.

Orozco-Mosqueda, M. D. C., Glick, B. R., & Santoyo, G. (2020). ACC deaminase in plant growth-promoting bacteria (PGPB): An efficient mechanism to counter salt stress in crops. *Microbiological Research, 235*, 126439. https://doi.org/10.1016/j.micres.2020.126439.

Prasad, M., Srinivasan, R., Chaudhary, M., Choudhary, M., & Jat, L. K. (2019). Plant growth promoting rhizobacteria for sustainable agriculture: Perspectives and challenges. In: PGPR Amelioration in Sustainable Agriculture. Pp. 129-157. Woodhead Publishing, Cambridge, UK.

Ritchie, S. W., & Nguyen, H. T. (1990). Leaf water content and gas exchange parameters of two wheat genotypes differing in drought resistance. *Crop Science, 30*(1), 105-111. https://doi.org/10.2135/cropsci1990.0011183X003000010025x.

Saddiq, M. S., Afzal, I., Basra, S. M. A., Iqbal, S., & Ashraf, M. (2020). Sodium exclusion affects seed yield and physiological traits of wheat genotypes grown under salt stress. *Soil Science and Plant Nutrition, 20*(3), 1442-1456. https://doi.org/10.1007/s42729-020-00224-y.

Sakai, Y., Nakamura, M., & Wang, C. (2020). Soil carbon sequestration due to salt-affected soil amelioration with coal bio-briquette ash: A case study in Northeast China. *Minerals, 10*(11), 1-17. https://doi.org/10.3390/min10111019.

Saleh, M. S., Al-Garni, M. D., Mohibul A. K., & Ahmed, B. (2019). Plant growth-promoting bacteria and silicon fertilizer enhance plant growth and salinity tolerance in *Coriandrum sativum*. *Journal of Plant Interactions, 14*(1), 386-396. https://doi.org/10.1080/17429145.2019.1641635.

Salehi, F., Abbasi, N., & Darabi, F. (2018). An investigation of the effects of haze on the physiology of plants. In the 2th International Conference on Dust, Ilam.

Santoyo, G., Sanchez-Yanez, J. M., & Santos-Villalobos, S. D. L. (2019). Methods for detecting biocontrol and plant growth-promoting traits in Rhizobacteria. In: Microbes and Signaling Biomolecules against Plant Stress. Pp. 133–149. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-13-5767-1_8.

Sarala, T. D., & Saravana, K. R. (2012). Correlation analysis and exceedence factor among the ambient gaseous pollutants and particulate matter in urban area. *Journal of Research in Biology, 2*(3), 232-240.

Setsungnern, A., Treesubsuntorn, C., & Thiravetyan, P. (2018). Chlorophytum comosumbacteria interactions for airborne benzene remediation: effect of native endophytic Enterobacter sp. EN2 inoculation and blue-red LED light. *Plant Physiology and Biochemistry, 130*, 181-191. https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2018.06.042.

Sharifi Rad, J., Karimi, J., Mohsenzadeh, S., Sharifi Rad, M., & Moradgholi, J. (2014). Evaluating SiO_2 nanoparticles effects on developmental characteristic and photosynthetic pigment contents of *Zea mays* L. bulletin of environment. *Pharmacology and Life Sciences, 3*(6), 194-201.

Shilev, S. (2020). Plant-growth-promoting bacteria mitigating soil salinity stress in plants. *Applied Science, 10*(20), 1-20. https://doi.org/10.3390/app10207326.

Singh, A. K. (2004). The physiology of salt tolerance in four genotypes of chickpea during germination. *Agricultural Science and Technology, 6*(3), 87-93. https://doi.org/20.1001.1.16807073.2004.6.3.6.4.

Singh, R. P., & Jha, P. N. (2016). A halotolerant bacterium *Bacillus licheniformis* HSW-16 augments induced systemic toleranceto salt stress in wheat plant (*Triticum aestivum*). *Frontiers in Plant Science, 7*, 1890. https://doi.org/10.3389/fpls.2016.01890.

Siqueira-Silva, I. A., Pereira, E. G., Modolo, L. V., Lemos-Filho, J. P., & Paiva, S. A. (2016). Impact of cement dust pollution on *Cedrela fissilis* Vell. (Meliaceae): A potential bioindicator species. *Chemosphere, 158*, 56-65. https://doi.org/10.1007/s11356-016-6793-z.

Taati, M., Ghanbarian, Gh. A., Safaeian, R., & Afzali, S. F. (2019). Comparative assessment of carbon sequestration capability in plant and soil of three dominant halophytic species, including *Aeluropus littoralis*, *Halocnemum strobilaceum*, and *Seidlitzia rosmarinus* in fars province. *Ecopersia, 7*(2), 69-77. https://doi.org/20.1001.1.23222700.2019.7.2.4.8.

Taheri Analojeh, A., Azimzadeh, H. R., Mosleh Arani, A., & Sodaiezadeh, H. (2016) Investigating and comparing short period impact of dust on physiological characteristics of three species of *Pinus eldarica*, *Cupressus sempervirens*, and *Ligustrum ovalifolium*. *Arabian Journal of Geosciences, 9*(4), 1-12. https://doi.org/10.1007/s12517-015-2241-5.

Tak, A., & Kakde, U. B. (2017). Assessment of air pollution tolerance index of plants: A comparative study. *International Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences, 9*(7), 83-9. https://doi.org/10.22159/ijpps.2017v9i7.18447.

Treesubsuntorn, C., Setiawan, G. D., Permana, B. H., Citra, Y., robthong, S., Yingchutrakul, Y., Siswanto, D., & Thiravetyan, P. (2021). Particulate matter and volatile organic compound phytoremediation by perennial plants: Affecting factors and plant stress response. *Science of the Total Environment, 794*(10), 1-11. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.148779.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-10-12]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.56.8.2]

Uka, U. N., Hogarh, J., & Belford, E. J. D. (2017). Physiological responses of some plant species as a bio-indicator of roadside automobile pollution stress using the air pollution tolerance index approach. *International Journal of Plant Research, 3*(2), 9-16.

Wakeela, A., Asif, A. R., Pitann, B., & Schubert, S. (2010). Proteome analysis of sugar beet (*Beta vulgaris* L.) elucidates constitutive adaptation during the first phase of salt stress. *Plant Physiology, 168*(6), 519-526. https://doi.org/10.1016/j.jplph.2010.08.016.

Wu, Z. Y. (1995). Vegetation of China. Academic Press, Beijing.

Yaghmaei, L., Jafari, R., Soltani, S., Eshghizadeh, H. R., & Jahanbazy, H. (2020). Interaction effects of dust and water deficit stresses on growth and physiology of persian oak (*Quercus brantii* Lindl.). *Sustainable Forestry, 41*(2), 134-158. https://doi.org/ 10.1080/10549811.2020.1845742.

Zilaie, M. N., Arani, A. M., Etesami, H., Dinarvand, M., & Dolati, A. (2022). Halotolerant plant growth-promoting rhizobacteria-mediated alleviation of salinity and dust stress and improvement of forage yield in the desert halophyte *seidlitzia rosmarinus*. *Environmental and Experimental Botany, 201*, 104952. https://doi.org/ 10.1016/j.envexpbot.2022.104952.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-10-12]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.56.8.2]

The effects of plant growth promoting rhizobacteria on the morphological and physiological characteristics of *Haloxylon aphyllum* under dust stress

Mahmood Najafi Zilaie[1], Asghar Mosleh Arani*[2], Hassan Etesami[3]

[1] Faculty of Natural Resources and Desert Studies, Yazd University, Yazd, Iran
[2] Department of Environmental Sciences, Faculty of Natural Resources and Desert Studies, Yazd University, Yazd, Iran
[3] Department of Soil Sciences, Faculty of Agricultural Engineering and Technology, University of Tehran, Tehran, Iran
(Received: 10/12/2022, Accepted: 07/03/2023)

Abstract

Increasing concerns about the phenomenon of global warming caused by greenhouse gases have led to increased attention to the sequestration of atmospheric carbon dioxide in arid and semi-arid ecosystems. However, in the desert areas, stresses, especially dust stress, have made biological restoration operations difficult. In this research, the effect of plant growth promoting rhizobacteria on the vegetative and physiological characteristics of *Haloxylon aphyllm* under the influence of dust (control and 1.5 g/m2/month) was investigated. In the conditions of dust application, the *Zhihengliuela halotolerans* strain compared to *Bacillus pumilus* increased total chlorophyll (236%) and decreased ascorbic acid (75%), soluble sugar (53%), and catalase enzyme activity (65%), respectively. Under dust conditions, the *B. pumilus* strain performed better in terms of total phenol (52%), proline (66%), peroxidase enzyme activity (79%), and total dry biomass (108%) than the Z. halotolerans strain. The results also showed that both bacteria were able to reduce ascorbic acid, total phenol content, proline, soluble sugar, catalase and peroxidase in *Haloxylon aphyllum*, which showed that the use of plant growth promoting rhizobacteria can reduce free radicals and thereby prevent damage to the plant. The results of this research showed that plant growth promoting bacteria isolated from saline pasture plants can increase the seedling quality index under dust stress conditions and can help in the afforestation *of Haloxylon aphyllum* and the promotion of carbon dioxide sequestration in climate change conditions in arid and semi-arid ecosystems.

Keywords: *Bacillus pumilus*, Catalase, soluble sugars, *Haloxylon aphyllm*, Dust

Corresponding author, Email: Asghar Mosleh Arani, amosleh@yazd.ac.ir

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-10-12]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.56.8.2]